

УДК 621.91.04

## РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ В ФОРМООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМАХ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*д-р техн. наук, проф. В.А. ДАНИЛОВ*  
(Полоцкий государственный университет)

*Рассмотрены основные типы кинематических цепей, обеспечивающих реализацию функциональных связей в формообразующих системах технологического оборудования. Представлено описание их кинематических и геометрических характеристик посредством структурных формул компоновки станка, кинематики формообразования и кинематических схем обработки. Определены основные этапы реализации функциональных связей при разработке формообразующих систем новых и модернизируемых станков, учитывающие кинематический и компоновочный факторы, что позволяет минимизировать количество блоков компоновки при сохранении технологических возможностей станка за счет оптимизации его кинематической структуры. На примере токарно-затыловочного станка показана возможность повышения универсальности станочного оборудования путем формирования и реализации новых функциональных связей в формообразующей системе.*

**Введение.** Структура формообразующей системы станка определяется в значительной мере функциональными связями между исполнительными органами, несущими инструмент и заготовку, а также между ними и приводами. Функциональные связи обеспечивают передачу энергии исполнительным органам от источника движения, создание и согласование их движений. Они осуществляются посредством кинематических цепей, которые в зависимости от вида согласуемых движений (вращательное  $B$ , поступательное  $П$ , осциллирующее  $O$ , качательное  $K$ ) соединяемых элементов делятся на следующие основные типы:

- цепи типа  $(B - B)$ , связывающие вращающиеся ведущий и ведомые элементы (вал двигателя, исполнительные органы);
- цепи типа  $(B - П)$ , связывающие вращающийся и поступательно перемещающийся элементы, каждый из которых может быть ведущим или ведомым;
- цепи типа  $(П - П)$ , связывающие между собой поступательно перемещающиеся элементы;
- цепи типа  $(B - O)$ ,  $(B - K)$ , связывающие между собой вращающиеся и возвратно-поступательно перемещающиеся или совершающие качательные движения исполнительные органы;
- цепи  $(П - O)$ , связывающие между собой поступательно перемещающиеся и возвратно-поступательно перемещающиеся звенья.

Функциональная связь может быть реализована кинематической цепью механического, немеханического или комбинированного типов, содержащей соответствующий орган настройки ее передаточного отношения (зубчатый или кулачковый механизм, аналоговое или числовое устройство программного управления и т.п.).

Синтез и разработка средств реализации функциональных связей относятся к схемотехническому и геометрическому проектированию формообразующих систем технологического оборудования. Рациональное построение функциональных связей важно для обеспечения заданных технико-экономических показателей создаваемого станка, в частности его универсальности. Эта задача является предметом анализа в данном исследовании.

**Отображение функциональных связей формообразующей системы станка.** Необходимые для формообразования поверхности функциональные связи разрабатываются исходя из общей схемы обработки поверхности [1], кинематики формообразования и кинематической схемы обработки [2]. Формообразование поверхности методами механической и физико-технической обработки возможно при определенных функциональных связях между исполнительными органами станка, несущими инструмент и заготовку. По назначению эти связи разделяются на кинематические и геометрические, первые из которых устанавливают взаимосвязь, соотношение скоростей и направлений элементарных движений, образующих исполнительные движения, в соответствии с параметрами формируемой поверхности и реализуются кинематикой станка. Геометрические связи обеспечивают взаимное расположение и возможность относительного перемещения блоков, входящих в ветви инструмента и заготовки компоновки станка. Пути реализации функциональных связей разрабатываются на этапах схемотехнического и компоновочного проектирования станка, учитывая, что траектория движения формообразования может обеспечиваться кинематическим и геометрическим методами. Например, траектория исполнительного движения в

виде окружности может быть сформирована как геометрически, за счет ее физического аналога (подшипника, круговой направляющей), так и кинематически, за счет сложного формообразующего движения, создаваемого двумя согласованными элементарными движениями (поступательными, вращательными).

Комплексное представление в формализованном виде функциональных связей обрабатывающей системы возможно с использованием структурных формул компоновки станка [3], кинематики формообразования и кинематических схем обработки [4], содержащих необходимую для этого информацию.

Так, совокупность подвижных блоков, их расположение в ветвях инструмента и заготовки компоновки станка и перемещений в системе его координат отражается в структурной формуле координатной компоновки станка. Например, структурная формула координатной компоновки вертикально-фрезерного станка [3]  $K = XYZOC^s$  показывает, что его обрабатывающая система содержит в ветви заготовки три блока:  $X, Y, Z$ , имеющих возможность поступательного перемещения вдоль соответствующих осей  $x, y, z$  прямоугольной системы координат, и один блок  $C$  в ветви инструмента, вращающийся вокруг оси  $z$ . Однако структурная формула компоновки не отражает кинематические связи между ее подвижными блоками.

Кинематические и геометрические характеристики функциональных связей отражаются в структурной формуле схемы формообразования в виде совокупности определителей ее существенных признаков в соответствии с формой обработанной поверхности и параметрами исполнительных движений [4]. Такими признаками являются: метод формообразования поверхности; общая схема обработки; параметры, характеризующие инструмент, кинематику формообразования и кинематическую схему обработки. В структурной формуле схемы формообразования каждый признак отображается условными обозначениями, составляющими определитель данного признака.

Например, определитель метода формообразования поверхности включает в себя описание методов генерации её производящих линий (например,  $Ob'' - Kc$ ). Формообразующие инструменты различаются типом и формой производящих элементов, поэтому определитель инструмента отражает их тип (поверхность, линия, точка, множество линий или точек), форму производящей поверхности (цилиндрическая, коническая, винтовая, фасонная) или образующей (прямая, окружность, эвольвента и т.п. или множество линий). В общем случае этот определитель содержит дополнительную информацию (о взаимном расположении и ориентации производящих элементов, их количестве, геометрических параметрах и др.), необходимую для реализации схемы формообразования. Определитель пространственных параметров общей схемы обработки задает множество геометрических осей, направлений и плоскостей координатных перемещений инструмента и заготовки и их относительное расположение в соответствии с реализуемой общей схемой обработки [4], что необходимо для проектирования компоновки станка.

Определитель кинематики формообразования отражает общее количество и тип элементарных движений, характер изменения скоростей элементарных движений (постоянные, переменные), взаимосвязь элементарных движений, структуру исполнительных движений, их характеристику по назначению и скорости (главное – движение подачи). При необходимости неравномерность ( $\sim$ ) или дискретность (периодичность) ( $\partial$ ) движения, например,  $\tilde{B}_u, \Pi^{\partial}$ . Движение, сообщаемое заготовке, обозначается дополнительно штрихом, например,  $\Pi'_z, B'_w$ . Задаются оси координатных перемещений ( $B_u, \Pi_z, \Pi_{x/y}$  и т.п.). Эта информация является основой синтеза кинематической структуры станка.

Описание структуры исполнительного движения должно отражать его функциональное назначение (движения формообразования  $\Phi$ , врезания  $Bp$ , деления  $D$  и т.д. [5]), составляющие его элементарные движения и, при необходимости, соотношение их направлений, например,  $\Phi_v(B_u, B'_w)$ . В упрощенных структурных формулах достаточно буквенно-цифрового обозначения, отражающего необходимую для создания исполнительного движения взаимосвязь составляющих его элементарных движений, например,  $\Phi_s(B_1 \Pi_2)$ . Конкретизация параметров функциональной связи обеспечивается заданием соотношения скоростей элементарных движений, например, таких как  $[\Phi_v(B'_1, B_2), \omega_1 / \omega_2 = m; \Phi_s(\Pi_3 \Pi_4), S_1 / S_2 = tg \alpha]$ , что необходимо для ее реализации.

Таким образом, структурная формула схемы обработки, отражая функциональные связи в обрабатывающей системе, служит основой построения кинематической структуры и компоновки реализующего его станка. Этапы проектирования кинематики и компоновки станка взаимосвязаны, так как они совместно обеспечивают траектории исполнительных движений, их относительное положение и расположение в системе координат станка.

**Связь кинематического и компоновочного факторов в реализации функциональных связей.** Компоновка станка включает промежуточные и конечные подвижные блоки, расположенные определенным образом на неподвижном блоке и соединенные между собой функциональными связями в соответствии с его кинематической структурой. Конечными подвижными блоками являются исполнительные

органы, несущие инструмент и заготовку. Совокупность подвижных блоков от исполнительного органа до неподвижного блока образует соответствующую ветвь компоновки (инструмента или заготовки) [3].

Относительные перемещения исполнительных органов образуют движения формообразования, деления, установки, врезания, ориентации и вспомогательные движения с определенными кинематическими и геометрическими параметрами в соответствии с реализуемыми на станке общими и кинематическими схемами обработки. Поэтому проектирование компоновки, определяющей геометрические параметры движений, связано с синтезом кинематических схем обработки и кинематической структурой станка, обеспечивающей их кинематические параметры. Ввиду этого реализация функциональных связей включает решение следующих задач кинематического и компоновочного проектирования станков:

- синтез рациональных общих схем обработки, определяющих положение и форму траекторий исполнительных движений в процессе обработки [1];
- разработка кинематики формообразования, обеспечивающей относительное перемещение инструмента и заготовки в процессе обработки заданной поверхности или множества конгруэнтных поверхностей, формирование на этой основе состава необходимых исполнительных движений (формообразования, деления, ориентации и др.) и кинематической схемы обработки [2];
- разработка технологической компоновки станка, отражающей расположение и количество исполнительных органов, несущих заготовки и инструменты, рабочих и загрузочных позиций, устройств для смены заготовок и инструментов и т.д. [6];
- формирование соответствующих исполнительных пар (поступательных, вращательных, винтовых) для осуществления элементарных движений исполнительных органов и функциональных связей в обрабатывающей системе исходя из реализуемых схем формообразования [5];
- синтез кинематической структуры станка с учетом функциональных связей между структурными элементами [5, 7];
- формирование количества и состава технологических модулей и технологических комплектов [3];
- определение типов и количества блоков компоновки в ветвях инструмента и заготовки, достаточного, т.е. минимально необходимого, для реализации необходимых функциональных связей в обрабатывающей системе;
- графическое и информационное представление координатной компоновки и компоновочно-кинематической схемы [8].

Содержание указанных этапов отражает взаимосвязь проектирования кинематики и компоновки станка, в частности связь между выполняемыми функциями и структурой компоновки станка выражается посредством технологических модулей, формируемых из блоков компоновки [3]. Под технологическим модулем понимается количество блоков, необходимых для создания определенного исполнительного движения. Одноэлементарное исполнительное движение создается простым, а многоэлементарное – сложным технологическим модулем. Число подвижных блоков в сложном технологическом модуле равно числу элементарных движений, образуемых создаваемое этим модулем исполнительное движение. Совокупность блоков компоновки совместно с кинематическими связями между ними может образовывать один технологический модуль (специальные станки) или множество технологических модулей (универсальные станки), т.е. совокупность технологических модулей, обеспечиваемых данной компоновкой, характеризует универсальность станка по форме обрабатываемых поверхностей.

Одно из направлений совершенствования конструкций станков – уменьшение количества подвижных блоков компоновки при тех же функциональных связях, определяющих технологический потенциал станка, что возможно, например, при выполнении одним блоком формообразующего и наладочного движений.

Требование минимизации количества подвижных блоков обеспечивается за счет оптимизации кинематической структуры станка, реализующей функциональные связи между ними. Пусть требуется сообщить исполнительному органу по одной координате два прямолинейных движения  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , например, движение формообразования  $\Phi_s(\Pi_1)$  и вспомогательное (наладочное) движение  $Bcn(\Pi_2)$ , т.е. реализовать две функциональные связи. При этом оба движения могут выполняться как в одном, так и в противоположном направлениях одновременно или не совпадать во времени.

Возможны два варианта компоновки устройства, осуществляющего эти движения. В первом варианте компоновка включает два подвижных блока 1 и 2 (рис. 1, а), из которых блок 1, установленный подвижно на блоке 2, выполняет движение  $\Pi_1$ , а блок 2, установленный с возможностью перемещения по основанию 3, – движение  $\Pi_2$ . Во втором варианте компоновка имеет один подвижный блок 1 (рис. 1, б), установленный на основании 2.

Выполнение условия минимизации числа подвижных блоков возможно лишь при соответствующей кинематической структуре устройства. Кинематическая структура устройства, компоновка которого выполнена по первому варианту (см. рис. 1, а), имеет две поступательные кинематические пары: одна находится между подвижными блоками 1 и 2, другая – между подвижным блоком 2 и неподвижным бло-

ком 3. Конечным исполнительным органом является блок 1. Он получает движение  $\Pi_1$  от двигателя  $M_1$ , а также движение  $\Pi_2$  совместно с промежуточным подвижным блоком 2 от двигателя  $M_2$ . Соединение кинематических групп, создающих движения  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , осуществляется через промежуточное звено 2.

Кинематическая структура устройства, компоновка которого выполнена по второму варианту (см. рис. 1, б), имеет одну поступательную исполнительную пару, общую для групп движений  $\Phi_s(\Pi_1)$  и  $V_{cn}(\Pi_2)$ , которые соединены между собой по внешним связям через суммирующий механизм  $\Sigma$ , принадлежащий внешним связям обеих групп. Поэтому подвижный блок 1 в данном случае выполняет движения  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , осуществляемые или одновременно, или раздельно в одном или разных направлениях. Данная структура по сравнению с первой при тех же технологических возможностях позволяет выполнить конструкцию исполнительного механизма более компактной и с более высокой жесткостью при меньшей массе благодаря уменьшению числа подвижных блоков.

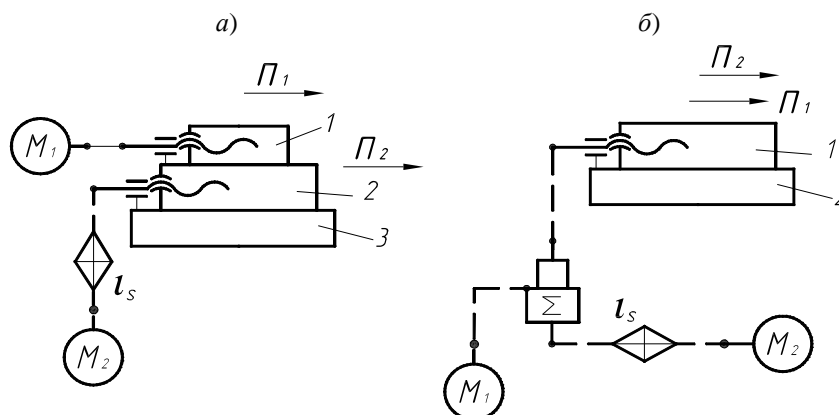


Рис. 1. Варианты компоновки исполнительного устройства для осуществления двух движений двумя подвижными блоками (а) или одним подвижным блоком (б)

Следует отметить, что графическое изображение компоновки не раскрывает без ее описания функциональные связи между ее блоками и с источниками движений и не позволяет установить возможные технологические модули. Поэтому для определения количества технологических модулей, обеспечиваемых данной компоновкой, необходимо знать реализуемые кинематической структурой функциональные связи между блоками компоновки.

Возможность формирования различных технологических модулей при минимальном числе блоков компоновки характеризует совершенство кинематической структуры станка, набора обеспечиваемых ею функциональных связей. Практика показывает, что потенциальные возможности компоновки станка по образованию технологических модулей зачастую не раскрываются при проектировании станка и не используются в полной мере при его эксплуатации. Разработка новых технологических модулей на базе существующей компоновки является основой расширения технологических возможностей станка без усложнения его конструкции.

Таким образом, совокупность технологических модулей, создаваемых данной компоновкой, характеризующая универсальность станка по форме обрабатываемых поверхностей, может быть определена только с учетом его кинематической структуры. Это обстоятельство обуславливает взаимосвязь этапов проектирования кинематической структуры и компоновки станка, необходимость разработки компоновки в соответствии с требуемыми кинематическими связями.

Так как функциональные связи реализуются совместно кинематической структурой и компоновкой станка, то разработка компоновки связана с синтезом кинематической структуры. В частности, решение задачи минимизации блоков компоновки предполагает синтез рациональной кинематической структуры станка. И наоборот, придание станку новых функций при заданном числе блоков компоновки возможно за счет рационального построения кинематической структуры, устанавливающей требуемые функциональные связи между подвижными блоками компоновки и объединяющей их в технологические модули.

Количество технологических модулей, возможных при заданной компоновке, зависит от реализуемых кинематической структурой функциональных связей между блоками компоновки. Раскрытие и реализация дополнительных функциональных связей, обеспечиваемых кинематической структурой и компоновкой станка, позволяет расширить его технологические возможности, что выражается в возможности обработки на нем иных поверхностей. Это подтверждают исследования и практические разработки по использованию токарно-затыловочных станков для обработки профильных цилиндрических [9] и круговых винтовых поверхностей [10].

Типовая кинематическая структура токарно-затыловочного станка позволяет реализовать две функциональные связи между вращением шпинделя и движениями резца в поперечном и продольном направлениях. Посредством первой функциональной связи между вращением шпинделя и перемещением суппорта в плоскости вращения шпинделя с помощью механизма профилирования кулачкового типа осуществляется формирование образующей (поперечного сечения) обработанной поверхности, например в виде спирали Архимеда при затыловании режущих инструментов. Эта функциональная связь выражается исполнительным движением  $\Phi_v(B_1P_2)$ , траектория которого определяется профилем кулачка – материального носителя образующей формируемой поверхности. Форма образующей может быть видоизменена за счет соответствующего профиля кулачка, что позволяет формировать поперечные сечения обработанных поверхностей, ограниченные различными контурными кривыми, например, в виде многоугольника с криволинейными сторонами, окружности, эксцентрично расположенной относительно оси вращения, и др.

Вторая функциональная связь между инструментом и заготовкой служит для образования направляющей обработанной поверхности, которая может быть прямой или винтовой линией, что выражается структурой исполнительного движения соответственно  $\Phi_s(P_3)$  и  $\Phi_s(B_1P_3)$ . Это позволяет на токарно-затыловочном станке выполнять несвойственные ему операции, в частности обработку некруглых цилиндрических поверхностей деталей профильных моментопередающих соединений и круговых винтовых поверхностей роторов одновинтовых насосов.

Рассмотрим пример реализации функциональной связи между движениями заготовки 1 (рис. 2) и резца 2 при обработке профильных поверхностей на токарно-затыловочном станке. Форма поперечного сечения обработанной поверхности определяется законом возвратно-поступательного перемещения резца, задаваемым кулачком 4, посредством плоского толкателя 3.

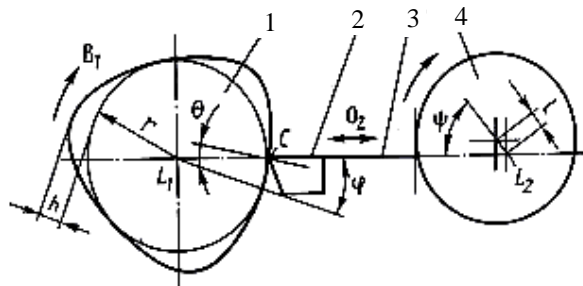


Рис. 2. Схема профилирования некруглой поверхности

Так, при гармоническом законе перемещения резца 2 на заготовке 1 образуется синусоидальный профиль [4], вершины которого отстоят на расстоянии  $h$  от вписанной в профиль окружности радиусом  $r$ . Такой закон перемещения производящей точки  $C$  создается при равномерном вращении круглого кулачка 4 вокруг оси  $L_2$ , отстоящей от его геометрической оси на расстояние  $l$ .

Равномерное вращение кулачка 4 преобразуется в возвратно-поступательное перемещение  $\delta$  производящей точки  $C$  (вершины резца 2).

$$\delta = l(1 - \cos \psi), \quad (1)$$

где  $\psi$  – угол поворота кулачка.

В результате на вращающейся вокруг оси  $L_1$  заготовке 1 образуется некруглый профиль с равномерно расположенными по окружности выступами высотой  $h = 2l$ , количество которых  $m = \psi / \varphi$ , где  $\varphi$  – угол поворота заготовки.

Уравнение образуемого профиля в полярных координатах  $\rho$  и  $\varphi$  имеет вид:

$$\rho = r + l(1 - \cos m\varphi), \quad (2)$$

где  $r$  – радиус вписанной в него окружности.

Учитывая, что  $r + l = R$ , где  $R$  – средний радиус профиля, имеем

$$\rho = R - l \cos m\varphi. \quad (3)$$

Из (3) следует, что форма профиля зависит от параметров  $R$ ,  $l$  и  $m$ . Для заданного числа выступов  $m$  в зависимости от отношения  $l / R$  она может быть выпуклой или выпукло-вогнутой. Синусоидальный профиль не имеет вогнутых участков, если

$$l/R \leq 1/(m^2 + 1). \quad (4)$$

Следует отметить, что реализация рассматриваемой функциональной связи возможна при выполнении условия проходимости инструмента, что связано с анализом изменения рабочих углов резца, имеющего определенные ограничения. При выпуклой форме профиля они изменяются в меньшем диапазоне, величина которого равна удвоенному значению угла  $\theta$  между направлением радиуса-вектора и нормалью к профилю.

Для синусоидального профиля

$$\theta = \left| \arctg \frac{-lm \sin m\varphi}{R + l \cos m\varphi} \right|,$$

откуда следует, что максимальное значение  $\theta$  имеет место при

$$\varphi = m^{-1} \arccos(-l/R). \quad (5)$$

С учетом  $\theta_{\max}$  должен задаваться задний угол резца для обеспечения его проходимости (непересечения задней поверхности резца с формируемой поверхностью).

Аналогично реализуются на токарно-затыловочном станке функциональные связи между движениями инструмента и заготовки и при обработке круговых винтовых поверхностей (рис. 3).

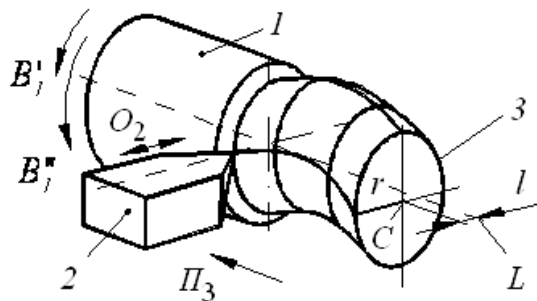


Рис. 3. Схема точения круговой винтовой поверхности

Поперечное сечение круговой винтовой поверхности  $S$  представляет окружность 3, эксцентрично расположенную относительно ее оси  $L$ . Такая поверхность описывается параметрическими уравнениями [11]:

$$\begin{cases} x = l \cos \beta + r \cos(\alpha + \beta); \\ y = l \sin \beta + r \sin(\alpha + \beta); \\ z = p\beta, \end{cases} \quad (6)$$

где  $r$  – радиус производящей окружности;  $\alpha$  – угол поворота в поперечном сечении точки приложения нормали к винтовой поверхности;  $\beta$  – угол поворота поперечного сечения вокруг оси винтовой поверхности;  $l$  – расстояние от центра поперечного сечения до оси винтовой поверхности;  $p = H / 2\pi$  – параметр винта;  $H$  – шаг винтовой поверхности.

Учитывая геометрию круговой винтовой поверхности, она формируется при сообщении производящей окружности винтового движения. Направляющей поверхности служит винтовая линия, расположенная на цилиндрической поверхности, радиус которой равен смещению (эксцентриситету  $A$ ) центра окружности от оси винтовой поверхности.

Из множества возможных методов формирования круговых винтовых поверхностей более простым в реализации является метод, согласно которому образующая в виде окружности и винтовая направляющая формируются методом следа точечным производящим элементом – вершиной резца 2. При этом производящая окружность формируется в результате согласованных возвратно-поступательного движения  $O_2$  резца 2 перпендикулярно геометрической оси  $L$  заготовки 1 и вращения  $B_1'$  последней вокруг этой оси. Параметры возвратно-поступательного движения резца таковы, что центр  $C$  формируемой окружности в любой момент времени отстоит от геометрической оси  $L$  заготовки на величину эксцентриситета профиля  $l$ .

Необходимое для формирования круговой винтовой поверхности перемещение  $\Pi_3$  образуемой окружности по винтовой линии заданного шага осуществляется за счет дополнительного вращения  $B_1''$  заготовки вокруг своей геометрической оси, согласованного с поступательным движением  $\Pi_3$  резца параллельно оси  $L$  заготовки. Следовательно, круговая винтовая поверхность формируется двумя сложными

исполнительными движениями – движением резания  $\Phi_v(B'_1 BO_2)$  и винтовым движением подачи  $\Phi_s(B''_1 P_3)$ . Кинематика формообразования круговой винтовой поверхности в формализованном виде выражается определителем  $[\Phi_v(B'_1 O_2), \Phi_s(B''_1 P_3)]$ , устанавливающим требуемые функциональные связи в формообразующей системе. Таким образом, для формирования круговой винтовой поверхности необходимы две функциональные связи, первой из которых обеспечивается согласование элементарных движений  $B'_1$  и  $O_2$  для образования эксцентрично расположенной окружности, а второй – согласование движений  $B''_1$  и  $P_3$  для создания винтового движения определенного шага.

В соответствии с изложенным возможен вариант реализации схемы формообразования круговых винтовых поверхностей, когда эксцентрично расположенная производящая окружность радиусом  $r$  формируется кинематически, в результате согласования посредством механизма-построителя (кулачка с толкателем) вращательного движения  $B'_1$  шпинделя с заготовкой и осциллирующего движения  $O_2$  поперечного суппорта с резцом. Для перемещения производящей окружности по винтовой линии дополнительное вращательное движение  $B''_1$  шпинделя с заготовкой вокруг своей геометрической оси согласуется с поступательным движением  $P_3$  резца параллельно этой оси.

При осуществлении указанных связей образуется круговая винтовая поверхность с заданными эксцентриситетом  $l$  и шагом  $H$ .

Так как вращение заготовки и возвратно-поступательное движение резца взаимосвязаны, то для формирования винтовой линии дополнительное вращение  $B''_1$  можно заменить дополнительным возвратно-поступательным движением  $O_4$  резца. Такой метод получения винтовой линии применяется, в частности, при затыловании режущих инструментов с винтовыми режущими кромками, что является основанием для использования токарно-затыловочных станков для обработки круговых винтовых поверхностей.

Кинематическая структура и компоновка станка для обработки круговых винтовых поверхностей должны обеспечивать реализацию функциональных связей, необходимых для формирования производящих линий (окружности и винтовой линии), и возможность настройки их геометрических параметров (диаметра, эксцентриситета, шага и направления винтовой поверхности). Для этого кинематическая структура должна содержать две сложные кинематические группы: группу движения профилирования и группу винтового движения, а компоновка станка должна обеспечивать возможность перемещения блока с инструментом в двух взаимно перпендикулярных направлениях – в плоскости вращения шпинделя с заготовкой и вдоль его оси. Этим условиям удовлетворяют компоновка и кинематическая структура токарно-затыловочного станка (рис. 4).

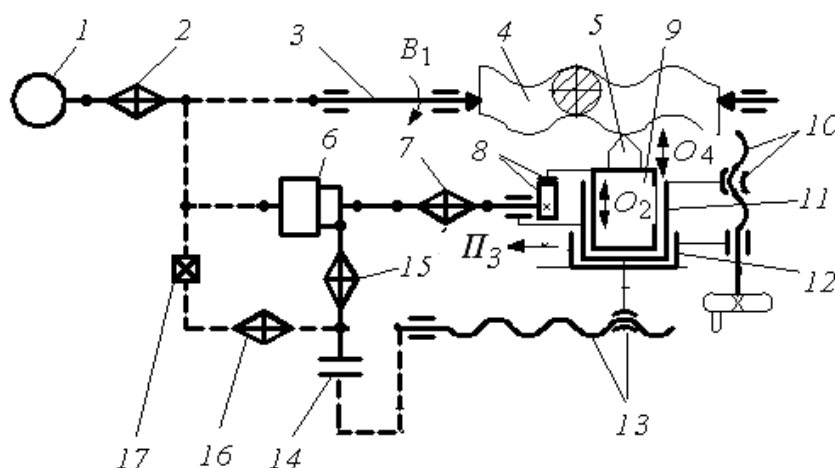


Рис. 4. Структурная схема станка для обработки круговых винтовых и некруглых цилиндрических поверхностей

Исполнительными органами станка являются шпиндель 3, поперечный 11 и продольный 12 суппорты, снабженные тяговыми устройствами, соответственно 10 и 13, для перемещения этих суппортов. Шпиндель, несущий заготовку 4, кинематически через орган настройки частоты его вращения 2 связан с двигателем 1. Тяговое устройство 13 соединено со шпинделем 3 кинематической цепью, содержащей орган настройки 16 скорости перемещения продольного суппорта (подачи) и реверсивный механизм 17 для настройки направления этого движения. На поперечном суппорте 11 смонтирован кулачковый меха-

низм-построитель 8 для сообщения возвратно-поступательного движения каретке 9, который связан со шпинделем кинематической цепью, содержащей суммирующий механизм 6 и орган настройки 7. Последний служит для задания соотношения между частотой вращения шпинделя и чистотой двойных ходов каретки 9, что необходимо при затыловании, обработке некруглых цилиндрических поверхностей с равномерно расположенными выступами (см. рис. 2) и каналовых винтовых поверхностей. Через суммирующий механизм 6 механизм 8 связан также с тяговым устройством 13, что позволяет сообщать каретке с инструментом 5 дополнительное движение  $O_4$ , необходимое для получения на заготовке винтовой поверхности, шаг которой настраивается органом 15.

Муфта 14 предназначена для отключения движения  $O_4$ , когда оно не требуется для обработки заданной поверхности, например, некруглой цилиндрической.

Кинематическая структура станка позволяет создавать множество частных кинематических структур, обеспечивающих обработку различных поверхностей. Рассмотрим частную кинематическую структуру, соответствующую обработке круговых винтовых поверхностей.

Данная структура содержит две сложные кинематические группы: группу движения профилирования  $\Phi_1(B_1O_2)$  (образования производящей окружности) и группу движения  $\Phi_5(P_3O_4)$ , обеспечивающего образование винтовой направляющей. Структура исполнительных движений определяет необходимые функциональные связи в формообразующей системе станка, реализуемые посредством соответствующих кинематических цепей между его исполнительными органами, несущими заготовку и инструмент.

Внутренняя связь группы движения профилирования выполнена в виде кинематической цепи, связывающей шпиндель 3 с кулачком механизма 8 через суммирующий механизм 6 и орган настройки 7. Внешняя связь этой группы передает движение от двигателя 1 во внутреннюю связь через орган настройки 2 скорости исполнительного движения.

Внутренняя связь второй кинематической группы соединяет тяговое устройство 13 с кулачком механизма 8 через орган настройки 15, суммирующий механизм 6 и орган настройки 7. Движение от двигателя 1 передается в эту связь через органы настройки 2, 17 и 16.

Станок настраивается в соответствии с режимом резания и параметрами обрабатываемой круговой винтовой поверхности (диаметр ее поперечного сечения, эксцентриситет профиля, шаг и направление винтовой поверхности).

При настройке станка диаметр поперечного сечения (производящей окружности) устанавливается перемещением поперечного суппорта 11 поперек станины, эксцентриситет профиля обеспечивается установкой в механизме 8 возвратно-поступательного движения каретки 9 сменного кулачка соответствующей формы; шаг получаемой винтовой поверхности настраивается органом 15, а ее направление (левое или правое) – реверсивным механизмом 17.

Частота вращения шпинделя с заготовкой и подача продольного суппорта настраиваются соответственно органами 2 и 16.

При обработке круговой винтовой поверхности станок работает следующим образом. Шпиндель 3 с заготовкой 4 получают от двигателя 1 вращение  $B_1$  с частотой, настроенной органом 2, а каретка 9 с инструментом 5 – возвратно-поступательное (осциллирующее) движение  $O_2$ , согласованное с вращением шпинделя. В результате осуществления этих движений на заготовке 4 инструментом 5 формируется заданный профиль поперечного сечения круговой винтовой поверхности – окружность определенного радиуса.

Одновременно с указанными движениями получает прямолинейное перемещение  $P_3$  продольный суппорт 12, благодаря чему осуществляется обработка поверхности по длине. Вследствие того, что тяговое устройство 13 через суммирующий механизм 6 связано с механизмом 8 возвратно-поступательного движения, каретка 9 с инструментом 5 получают дополнительное возвратно-поступательное движение  $O_4$ , вследствие чего инструментом формируется винтовая поверхность с круговым профилем, требуемый шаг которой задается органом настройки 15.

Требуемая величина эксцентриситета обработанной поверхности обеспечивается механизмом-построителем 8. По рассмотренной схеме могут обрабатываться и каналовые поверхности с отличной от окружности формой поперечного сечения.

Рассмотренная кинематическая структура позволяет также реализовать функциональные связи между исполнительными органами станка, необходимые для обработки некруглых цилиндрических поверхностей с равномерно расположенными по окружности конгруэнтными выступами согласно рисунку 2. Связь между вращением шпинделя 3 и возвратно-поступательным движением каретки 9, участвующими в движении профилирования  $\Phi_1(B_1O_2)$ , осуществляется кинематической цепью, содержащей суммирующий механизм 6 и орган настройки 7 в виде гитары сменных зубчатых колес, которой производится настройка на число выступов. Другая функциональная связь между вращением шпинделя и перемещением продольного суппорта совместно с прямолинейными направляющими обеспечивает движение подачи  $\Phi_5(P_3)$ , настройка скорости и направления которого производится соответственно органами 10 и 11.



**Выводы**

1. Технологические возможности станка определяются функциональными связями в формообразующей системе, реализуемыми совместно его компоновкой и кинематической структурой.
2. Кинематические и геометрические характеристики функциональных связей, отражаемые в формализованном виде посредством структурных формул компоновки станка, кинематики формообразования и кинематических схем обработки, служат основой построения его обрабатывающей системы на этапе функционального проектирования.
3. Реализация функциональных связей при проектировании станочного оборудования с учетом кинематического и компоновочного факторов позволяет минимизировать количество блоков компоновки при сохранении технологических возможностей станка за счет оптимизации его кинематической структуры.
4. Реализация новых функциональных связей в формообразующей системе при модернизации станка позволяет, не изменяя компоновку и кинематическую структуру, расширить его технологические возможности по форме обрабатываемых поверхностей.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Данилов, В.А. Синтез рациональных общих схем обработки при проектировании станков / В.А. Данилов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. – 2011. – № 11. – С. 89 – 96.
2. Данилов, В.А. Методологические основы синтеза кинематики формообразования и кинематических схем обработки при функциональном проектировании станочного оборудования / В.А. Данилов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. – 2012. – № 3. – С. 2 – 10.
3. Врагов, Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: (Основы компоновки) / Ю.Д. Врагов. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
4. Данилов, В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием / В.А. Данилов. – Минск: Наука и техника, 1995. – 264 с.
5. Федотенок, А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – М.: Машиностроение, 1970. – 403 с.
6. Чарнко, Д.В. Основы выбора технологического процесса механической обработки / Д.В. Чарнко. – М.: Машгиз, 1963. – 320 с.
7. Данилов, В.А. Синтез внутренних связей кинематических групп при проектировании металлорежущих станков / В.А. Данилов // Машиностроение: республ. межведомств. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2010. – Вып. 25. – С. 312 – 318.
8. Данилов, В.А. Модульная компоновочно-кинематическая схема станка как средство его проектирования / В.А. Данилов, В.А. Терентьев // Машиностроение. – Минск, 2002. – Вып. 18. – С. 294 – 300.
9. Данилов, В.А. Механическая обработка профильных поверхностей на универсальных станках / В.А. Данилов, М.В. Бажин, А.И. Костюченко // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1996. – № 5. – С. 68 – 70.
10. Данилов, В.А. Разработка и реализация технологий формообразования круговых винтовых поверхностей резанием / В.А. Данилов, А.А. Чепурной, Ю.В. Ситько // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. – 2009. – № 8. – С. 147 – 153.
11. Люкшин, В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов / В.С. Люкшин. – М.: Машиностроение, 1968. – 372 с.

Поступила 17.06.2013

**REALIZATION OF FUNCTIONAL CONNECTIONS  
IN SHAPE-GENERATING SYSTEMS OF MACHINE-TOOL EQUIPMENT**

**V. DANILOV**

*The basic types of kinematic chains, which provide realization of functional connections in shape-generating systems of machine-tool equipment, description of their kinematic and geometric characteristics by means of structural formulae of arranging of a machine, kinematics of shape-generation and kinematic schemes of processing are considered. The main stages of realization of functional connections at development of shape-generating systems of new and modernized machines are defined, which take into account kinematic and composition factors, which allows to minimize the quantity of composition blocks at the same time saving the technological possibilities of a machine at the expense of optimization of its kinematic structure. On the example of relief lathe the possibility of increasing of universality of machine-tool equipment is shown by means of forming and realization of new functional connections in shape-generating environment.*